

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДА НА РАСХОД
ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ
ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА ПОСТОЯННОГО ТОКА**

*Истомин С.Г., доцент кафедры «Подвижной состав электрических железных дорог»,
Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС), e-mail:
istomin_sg@mail.ru*

Аннотация. В статье рассматривается вопрос повышения энергетической эффективности электроподвижного состава. На основе данных современных регистраторов параметров движения электровозов постоянного тока серии 2ЭС6 проводится анализ

составляющих расхода электроэнергии данного электровоза в режимах тяги, выбега, пневматического и рекуперативного торможения. На основе проведенного исследования сделано заключение, что на равнинном профиле пути существенное влияние на полный расход электроэнергии оказывает общий расход с учетом расхода на собственные нужды ЭПС в режимах тяги, выбега и пневматического торможения и не существенное в режиме рекуперативного торможения. Также на равнинном профиле возникает парадоксальная ситуация: при увеличении рекуперированной электроэнергии увеличивается полный расход электроэнергии электроподвижного состава. Подобное явление объясняется большим значением расхода на собственные нужды в течение всей поездки. В качестве дальнейшего развития темы исследования предлагается провести подобные эксперименты с электровозом 2ЭС6 на участках с профилем пути 2, 3 и 4 типа, а также рассмотреть более подробно в режиме тяги распределения токов и напряжений, как тяговых электродвигателей, так и преобразователя собственных нужд с целью установления оптимальных режимов их согласной работы.

Ключевые слова. Электроподвижной состав, расход на собственные нужды, режимы движения, тяга, выбег, рекуперативное торможение, пневматическое торможение.

STUDY OF THE EFFECT OF TRAIN MOVEMENT MODES ON THE ELECTRIC POWER CONSUMPTION BY THE AUXILIARY EQUIPMENT OF THE ELECTRIC MOBILE COMPOSITION OF THE CURRENT

Istomin S.G., assistant professor of the department "Rolling stock of electric railways", Omsk State University of Communications (OmGUPS), e-mail: istomin_sg@mail.ru

Abstract. The article discusses the issue of increasing the energy efficiency of electric rolling stock. On the basis of data from modern recorders of motion parameters of electric locomotives of the 2ES6 series, an analysis is made of the components of the electric power consumption of this locomotive in the modes of thrust, coasting, pneumatic and regenerative braking. On the basis of the conducted research, it was concluded that on a flat profile of the path, the total consumption is significantly affected by the total consumption, taking into account the own needs of EPS, in the modes of thrust, coasting, and air braking and not significant in the mode of regenerative braking. Also, a paradoxical situation arises on the flat profile: with an increase in the recovered electric power, the full electric power consumption of the electric rolling stock increases. This phenomenon is due to the large value of consumption for own needs throughout the trip. As a further development of the research topic, it is proposed to conduct similar experiments with the 2ES6 electric locomotive on sections with a 2, 3 and 4 type track profile, and also to consider in more detail in the thrust mode the distribution of currents and voltages of both traction electric motors and the auxiliary converter to establish optimal modes of their consonant work.

Keywords. Electric rolling stock, consumption for own needs, driving conditions, thrust, coasting, regenerative braking, air braking.

Одной из приоритетных задач Энергетической стратегии холдинга «Российские железные дороги» на период до 2015 года и на перспективу до 2030 года является значительное повышение энергетической эффективности тяги поездов. Так, в целом по ОАО «РЖД» прогнозируемое снижение удельного расхода тягово-энергетических ресурсов на тягу поездов к уровню 2015 года должно составить к 2020 году – 2,5 - 4,4%, к 2030 году 8,0 - 9,0% [3].

На реализацию этой приоритетной задачи, в частности, направлены мероприятия по повышению энергетических характеристик электроподвижного состава (ЭПС) при их создании на

заводах-изготовителях или модернизации эксплуатируемых локомотивов за счет подбора оптимальных по энергопотреблению параметров вспомогательного электрооборудования и организации контроля и управления за его энергоэффективной работой.

В настоящее время на значительной части ЭПС ОАО «РЖД» отсутствует учет расхода электроэнергии на собственные нужды, что препятствует проведению оценки энергетической эффективности работы вспомогательного оборудования и разработке рекомендаций по ее повышению. В общем случае оценку расхода электроэнергии на собственные нужды ЭПС возможно выполнить на основе анализа параметров вспомогательного электрооборудования, заявленных в руководствах по эксплуатации ЭПС [4-8, 14-15], однако, подобный метод оценки не позволяет достоверно определить значение и характер потребления электроэнергии данного оборудования, так как не учитываются режимы его работы.

Наиболее достоверную информацию о расходе электроэнергии на собственные нужды ЭПС возможно получить экспериментальным путем.

На электровозах постоянного тока серии 2ЭС6, оснащенных преобразователем собственных нужд, позволяющего управлять асинхронными приводами вспомогательных машин, отсутствует учет электроэнергии на собственные нужды, однако, на картриджах регистраторов параметров движения электровоза 2ЭС6, являющихся составляющими микропроцессорной системы управления движения МПСУиД, имеется информация о токе собственных нужд электровоза и напряжении на токоприемнике, что позволяет при проведении дополнительной обработки массива данных получать информацию о расходе электроэнергии на собственные нужды и оценивать энергетическую эффективность вспомогательного оборудования [9,10].

Автором впервые подобный метод анализа был апробирован применительно к участку Московка – Барабинск протяженностью 316 км, который отличается преимущественно равнинным профилем пути. Выборка была составлена из поездов порожних и груженых поездов с электровозами серии 2ЭС6, эксплуатирующихся на данном участке в течение календарного года. В результате обработки данных картриджами регистраторов параметров движения электровозов серии 2ЭС6 было установлено, что доля расхода электроэнергии на собственные нужды от общего расхода электроэнергии в четном направлении составляет от 2,91% до 8,66% (рисунок 1), а в нечетном – от 2,72 до 10,14% (рисунок 2).

Данные результаты свидетельствуют о том, что доля расхода электроэнергии на собственные нужды электровозов 2ЭС6 от общего расхода электроэнергии также как и на электровозе ВЛ10 [1,2] достигает 10%. Однако, наличие только этой информации не позволяет сделать вывод о том, что применение статического преобразователя на электровозах 2ЭС6, позволяющего управлять асинхронными приводами вспомогательных машин, неоправданно, так как эксперименты выполнены на различных участках и в различных условиях. На основании полученных результатов можно сделать однозначный вывод о том, что имеется значительный потенциал снижения расхода электроэнергии на собственные нужды, реализовать который возможно за счет совершенствования алгоритмов работы статического преобразователя, подбора оптимальных по энергопотреблению параметров вспомогательного электрооборудования на основе исследования влияния различных случайных факторов, определяющих энергосберегающие режимы его работы.

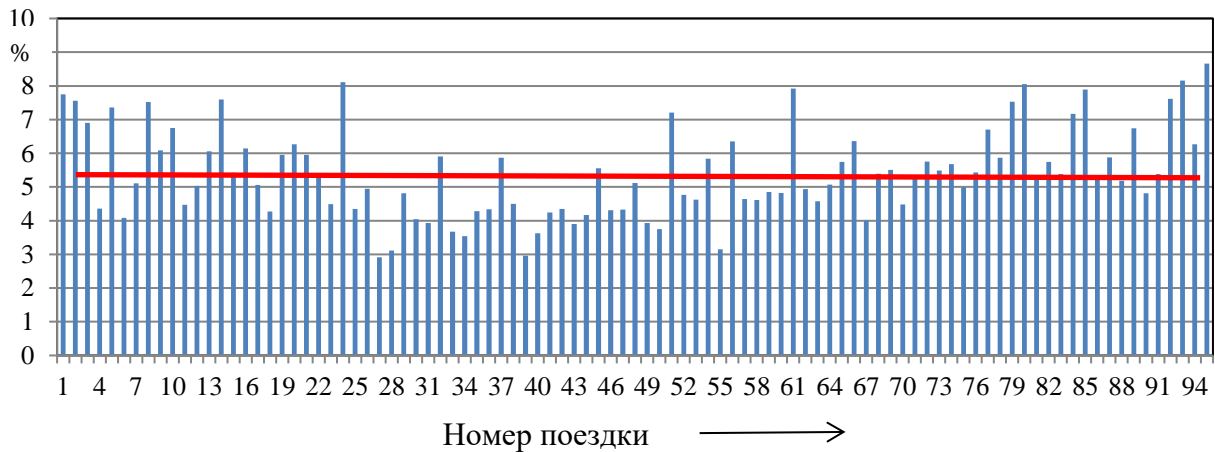


Рисунок 1 – Доля расхода электроэнергии на собственные нужды от общего расхода электроэнергии на тягу на участке Московка – Барабинск (четное направление)

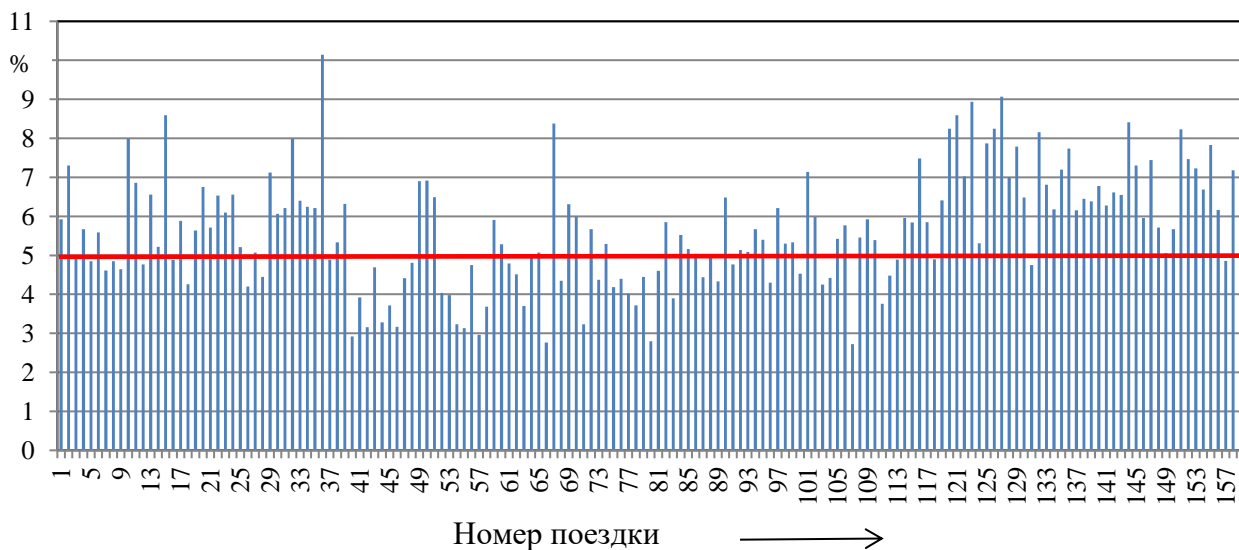


Рисунок 2 – Доля расхода электроэнергии на собственные нужды от общего расхода электроэнергии на тягу на участке Московка – Барабинск (нечетное направление)

В трудах [9-13] автором ранее были выявлены следующие статистически значимые эксплуатационные факторы, оказывающие влияния на удельный расход электроэнергии на собственные нужды электровозов серии 2ЭС6 в четном и нечетном направлении: масса состава, нагрузка на ось и температура окружающего воздуха. Однако помимо исследованных факторов на общую составляющую удельного расхода электроэнергии на собственные нужды электровозов постоянного тока серии 2ЭС6 влияют и эксплуатационные режимы движения поезда по участку: режим тяги, режим торможения, режим выбега.

В связи с этим целью данной работы является исследование влияния режимов движения поезда как на полный расход электроэнергии ЭПС, так и на расход электроэнергии его вспомогательного оборудования.

На рисунке 3 представлены графики зависимости полного расхода электроэнергии от расхода электроэнергии ЭПС в режимах тяги, выбега и пневматического торможения с учетом расхода электроэнергии на собственные нужды ЭПС в четном (а) и нечетном (б) направлениях. Из данного рисунка следует, что расход электроэнергии в рассматриваемых режимах движения поезда по участку оказывает существенное влияние на значение полного расхода электроэнергии (коэффициент детерминации R^2 близок к 1).

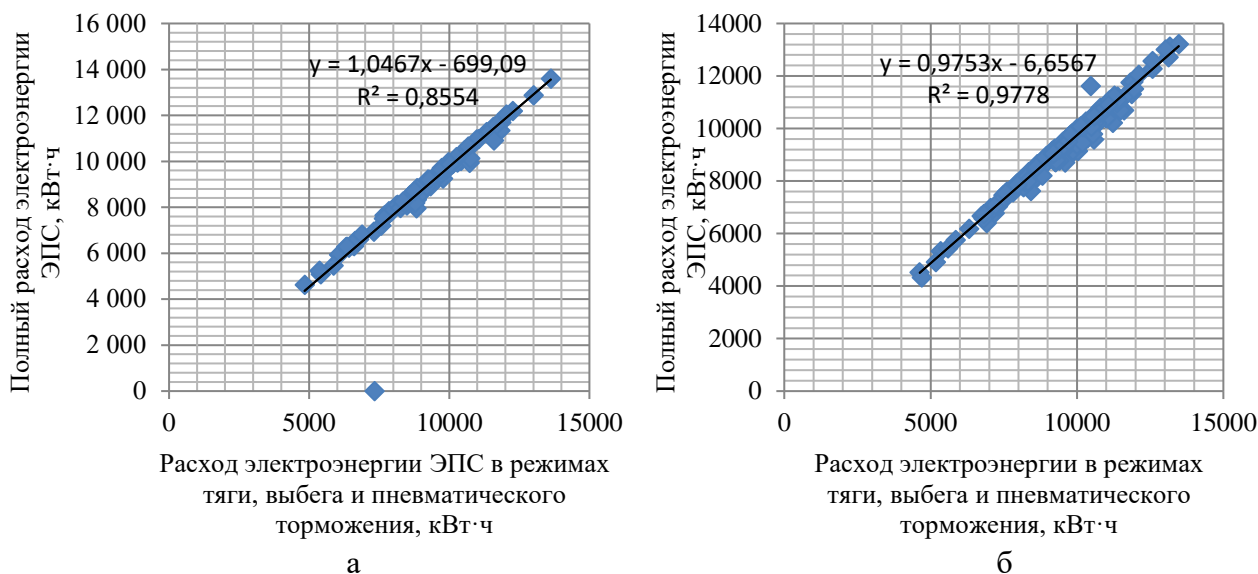


Рисунок 3 – Графики зависимости полного расхода электроэнергии от расхода электроэнергии ЭПС в режимах тяги, выбега и пневматического торможения в четном (а) и нечетном (б) направлениях

На рисунке 4 представлены графики зависимости полного расхода электроэнергии от расхода электроэнергии на собственные нужды ЭПС в режимах тяги, выбега и пневматического торможения в четном (а) и нечетном (б) направлениях. Из данного рисунка следует, что расход электроэнергии на собственные нужды ЭПС в рассматриваемых режимах движения поезда по участку оказывает слабое влияние на значение полного расхода электроэнергии (коэффициент детерминации R^2 не превышает 0,3).

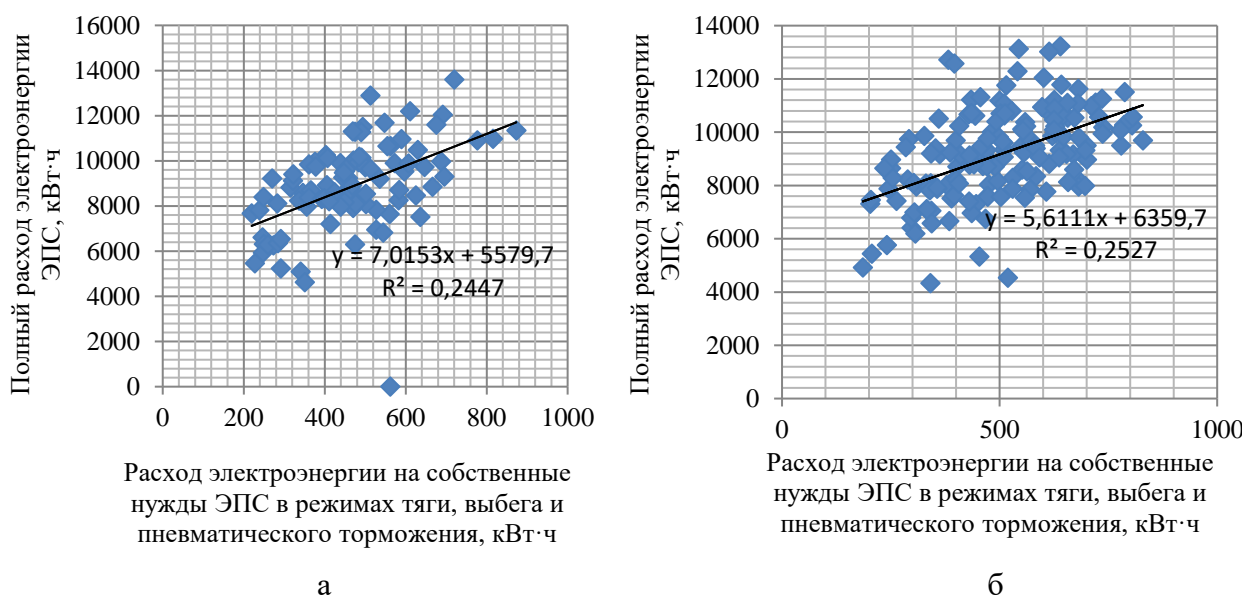


Рисунок 4 – Графики зависимости полного расхода электроэнергии от расхода электроэнергии на собственные нужды ЭПС в режимах тяги, выбега и пневматического торможения в четном (а) и нечетном (б) направлениях

На рисунке 5 представлены графики зависимости полного расхода электроэнергии от расхода (возврата) электроэнергии ЭПС в режиме рекуперативного торможения без учета расхода электроэнергии на собственные нужды ЭПС в четном (а) и нечетном (б)

направлениях. Из данного рисунка следует, что возврат электроэнергии в режиме рекуперативного торможения не оказывает существенное влияние на значение полного расхода электроэнергии (коэффициент детерминации R^2 близок к 0), что объясняется, прежде всего, равнинным профилем пути. Аналогичное заключение можно сделать и по графику зависимости полного расхода электроэнергии от расхода электроэнергии на собственные нужды ЭПС в режиме рекуперативного торможения в четном (а) и нечетном (б) направлениях, который представлен на рисунке 6.

Необходимо также отметить, что увеличение рекуперированной электроэнергии в нечетном направлении приводит к увеличению полного расхода электроэнергии. В первую очередь подобная парадоксальная ситуация связана с более большим значением приращения расхода электроэнергии на собственные нужды в течение всей поездки.

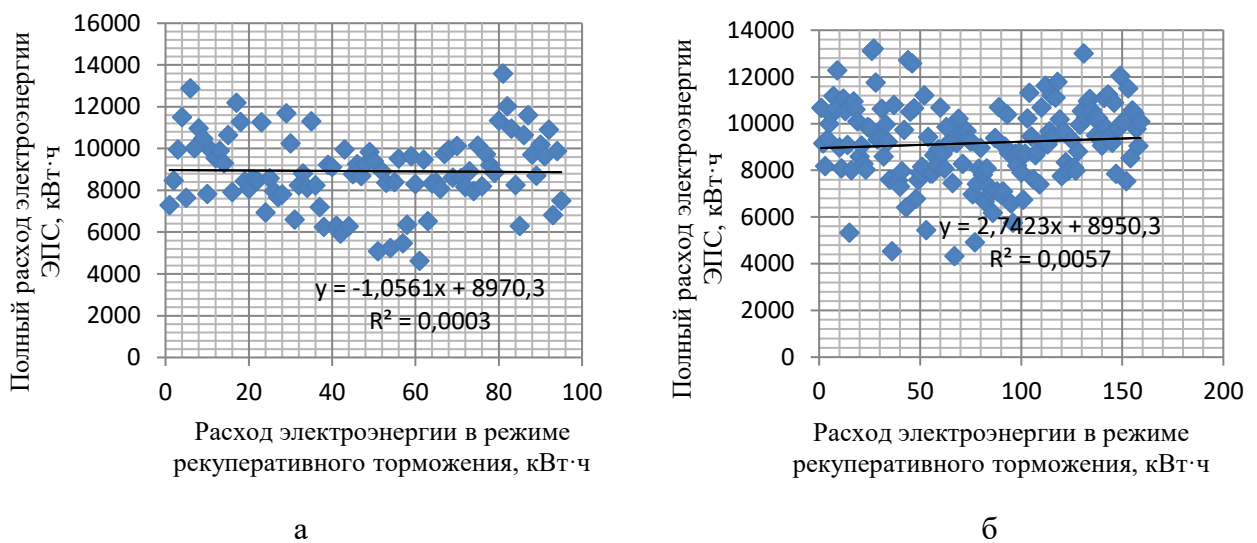


Рисунок 5 – Графики зависимости полного расхода электроэнергии от расхода электроэнергии ЭПС в режиме рекуперативного торможения в четном (а) и нечетном (б) направлениях

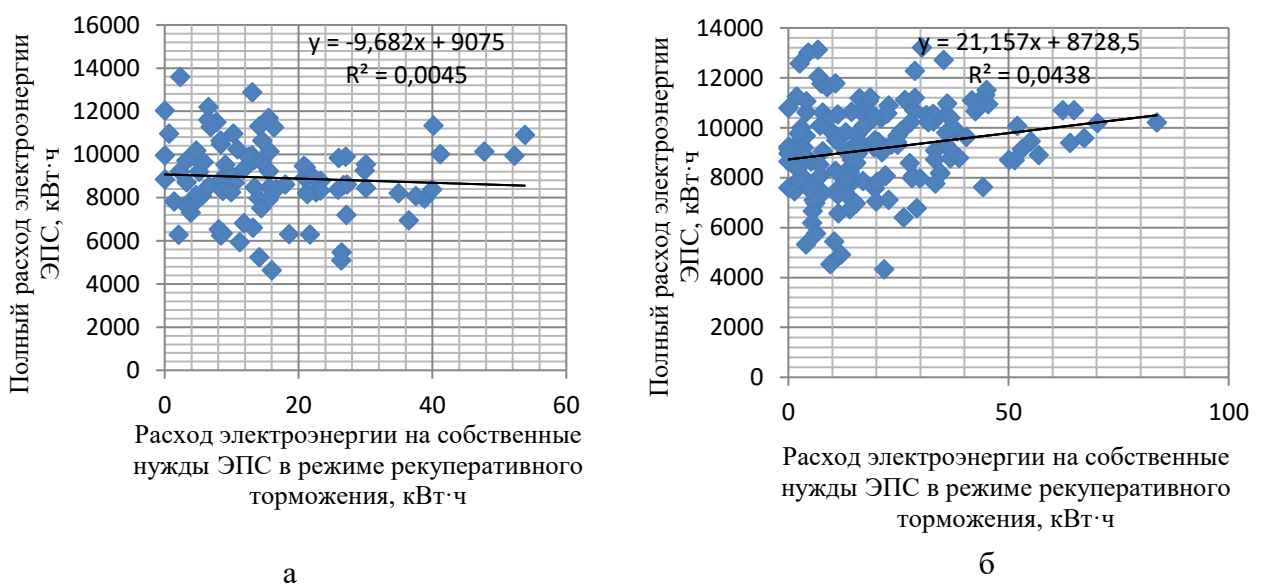


Рисунок 6 – Графики зависимости полного расхода электроэнергии от расхода электроэнергии на собственные нужды ЭПС в режиме рекуперативного торможения в четном (а) и нечетном (б) направлениях

В заключении необходимо отметить, что проведенные экспериментальные исследования на равнинном профиле пути позволили оценить изменение расхода электроэнергии, как тяговым, так и вспомогательным оборудованием электроподвижного состава постоянного тока серии 2ЭС6, однако в качестве дальнейшего развития темы исследования предлагается провести подобные эксперименты с электровозом 2ЭС6 на участках с профилем пути 2, 3 и 4 типа, а также рассмотреть более подробно в режиме тяги распределения токов и напряжений, как тяговых электродвигателей, так и преобразователя собственных нужд с целью установления оптимальных режимов их согласной работы.

Список литературы

1. Бакланов, А. А. Анализ расхода электроэнергии на собственные нужды электровоза ВЛ10 / А. А. Бакланов, Р. Я. Медлин // Исследование работы электрооборудования и вопросы прочности электроподвижного состава: Научные труды / Омский институт инженеров железнодорожного транспорта. Омск, 1974. – 51 – 57 с.
2. Бакланов, А. А. Влияние различных факторов на расход электроэнергии вспомогательными машинами электровоза ВЛ10 / А. А. Бакланов // Исследование работы электрооборудования и вопросы прочности электроподвижного состава: Научные труды / Омский институт инженеров железнодорожного транспорта. Омск, 1977. – 46 – 51 с.
3. Гапанович, В. А. Энергетическая стратегия и электрификация российских железных дорог / В. А. Гапанович, С. Н. Епифанцев, В. А. Овсейчук. – М.: Эко-Пресс, 2012. – 196 с.
4. Истомин, С. Г. К вопросу энергетической эффективности вспомогательного оборудования электровозов серии 2ЭС6 / Истомин, С. Г., Бондаревский, Д. И. // Инновационные проекты и технологии в образовании, промышленности и на транспорте: Материалы научной конференции / Омский гос. ун-т путей сообщения. Омск, 2017. 151 – 156 с.
5. Истомин С. Г. Анализ параметров и режимов работы вспомогательного оборудования грузовых электровозов постоянного тока железных дорог / С. Г. Истомин, Юрасов О. Д., Рахманов Д. А. // Молодежь и XXI век - 2018: Материалы VIII Международной молодежной научной конференции: В 5 томах. Том. 5. Юго-Зап. гос. ун-т, Курск: ЗАО Университетская книга, 2018. С. 135 – 139.
6. Истомин С. Г. Анализ параметров и режимов работы вспомогательного оборудования пассажирских электровозов постоянного тока железных дорог / С. Г. Истомин, Юрасов О. Д., Рахманов Д. А. // Транспортная инфраструктура Сибирского региона: Материалы Девятой Международной науч.-практической конференции, 10 – 13 апреля 2018 г. Иркутск: в 2 т. – Иркутск: ИрГУПС, 2018. – Т.2. С 282 – 285.
7. Истомин С. Г. Анализ параметров и режимов работы вспомогательного оборудования пригородных электропоездов постоянного тока серии ЭД4М / С. Г. Истомин, О. Д. Юрасов, А. А. Штраухман // Эксплуатационная надежность локомотивного парка и повышение эффективности тяги поездов: Материалы IV всероссийской науч.-техн. конф. с международным участием / Омский гос. ун-т. путей сообщения. Омск, 2018. С. 119 – 123.
8. Истомин, С. Г. Анализ параметров современных статических преобразователей собственных нужд электроподвижного состава постоянного тока железных дорог / С. Г. Истомин, Юрасов О. Д. // Молодежь и XXI век - 2019: Материалы IX Международной молодежной научной конференции: В 5 томах. Том. 5. Юго-Зап. гос. ун-т, Курск: ЗАО Университетская книга, 2019. С. 200 – 211.
9. Истомин С. Г. Применение регрессионных моделей для оценки энергетической эффективности вспомогательного оборудования электровозов серии 2ЭС6 / С. Г. Истомин, Д. И. Бондаревский // Известия Транссиба / Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск. – 2018. – №1 (33). – С. 22 – 30.
10. Istomin S. The use of correlation and regression analysis for assessment of the energy effectiveness of the dc electric locomotives auxiliary equipment, MATEC Web of Conferences, Vol. 239, 01038 (2018) <https://doi.org/10.1051/matecconf/201823901038>

11. Сидорова Е. А. Применение корреляционно-регрессионного анализа для оценки энергетической эффективности вспомогательного оборудования пассажирских электровозов постоянного тока серии ЭП2К / Е. А. Сидорова, С. Г. Истомин, О. В. Гателюк // Вестник РГУПС. – 2018. – №3 (71). – С. 59 – 68.

12. Истомин С. Г. Оценка энергетической эффективности оборудования для отопления и кондиционирования воздуха электропоездов постоянного тока серии ЭД4М / С. Г. Истомин, А. А. Штраухман // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока / Новосибирская гос. акад. водного транспорта. Новосибирск. – 2018. – № 2. – С. 148 – 152.

13. Истомин С. Г. Анализ применения регрессионных моделей для оценки энергетической эффективности вспомогательного оборудования пригородных электропоездов постоянного тока серии ЭД4М / С. Г. Истомин, А. А. Штраухман // Транспорт Урала. 2018. № 4 (59). С. 81–85.

14. Истомин С. Г. Анализ методов и средств контроля и управления потреблением электроэнергии вспомогательным оборудованием электроподвижного состава постоянного тока / С. Г. Истомин // Разработка и эксплуатация электротехнических комплексов и систем энергетики и наземного транспорта: Материалы третьей международной науч.- практ. конф. / Омский гос. ун-т. путей сообщения. Омск, 2018. С. 257 – 265.

15. Истомин С. Г. Анализ нормативно-технической документации на режимы работы вспомогательного оборудования электроподвижного состава постоянного тока железных дорог / С. Г. Истомин // Актуальные проблемы и перспективы развития транспорта, промышленности и экономики России («ТрансПромЭК-2018»): Материалы Всероссийской национальной научно-практической конференции, 1 – 2 марта 2018 г. Ростов-на-Дону: в 2 т. – Ростов-на-Дону: РГУПС, 2018. – Т.2. С. 44 – 47.